（２）省エネ技術の特徴と効果

a 多重被覆

栽培ハウスの被覆面および隙間からの熱損失はかなり大きく、断熱性を高める被覆を行うことが省エネルギーの第一歩である。
カーテンには様々な資材が利用されているが、保温性だけでなく、透湿性や開閉性等いくつか重要な要素があるので、資材の選定、とくに多層化する際の資材の組み合わせには注意が必要である。
多層化のための工事はハウスの構造に左右される面もあるが、工夫次第で二重、三重とすることが可能であり、大きな効果が期待できる。

・施設における熱損失と対策

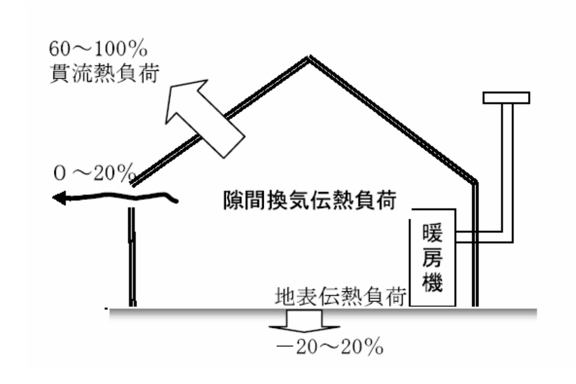
貫流熱負荷（被覆資材を通過する熱量）が60～100%と高く、断熱性を高める被覆を行うことが省エネルギーの基本である。

・地表伝熱負荷

できるだけ土壌に蓄熱し、地表伝熱をプラスにすることも大切である。

・隙間からの熱損失

施設の外部被覆や内張カーテンには隙間が多く、熱損失が 20%にも及ぶことがあり、無視できない。



図Ⅱ-2-1　温室の熱損失



図Ⅱ-2-2 二重被覆の隙間



図Ⅱ-2-3 二重被覆の破れ

・被覆資材の種類と特性・保温効果

表Ⅱ-2-1 カーテン資材の特性比較（内藤ら）

資材名	保温性	透光性	防曇性	透湿性	開閉性
農ポリ	△	○	△	×	○
農　ビ　1)	△	○	○	×	○
不織布	△	△	－	○	○
ＰＶＡ　2)	△	△	○	○	△
アルミ粉利用農ポリ	○	×	×	×	○
アルミ蒸着フィルム	◎	×	×	×	△

※◎優れる　○やや優れる　△やや劣る　×劣る　－全くない

1）カーテン専用農ビ

2）ビニロンフィルム

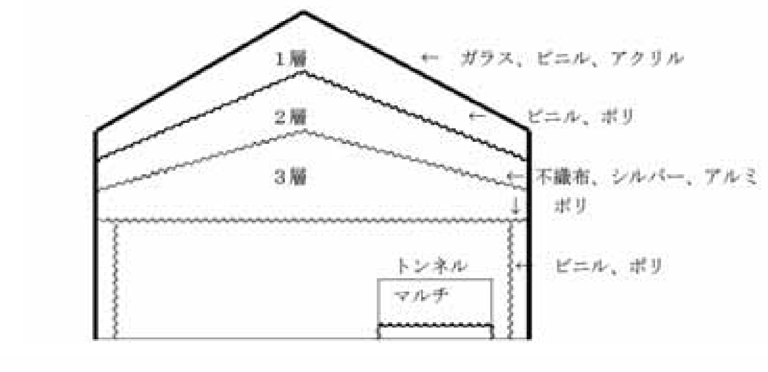
注）耐用年数、価格は商品によってコストは異なるが、農ポリ＜農ビ＜不織布＜アルミ

表Ⅱ-2-2 多重被覆の保温性（重油消費量の事例：L/100 坪）

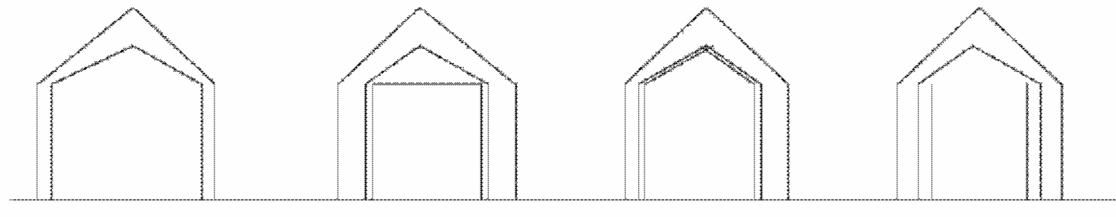
月	11	12	1	2	3	合計	割合
カーテンなし	780	1,703	2,137	2,478	1,825	8,924	100
１層カーテン	439	1,022	1,296	1,517	1,099	5,374	60.2
２層カーテン	350	843	1,075	1,275	908	4,441	49.8

・保温性が優れる資材の価格比較

M 社例	（対）一般 PO ムテキ 0.75mm×300cm×100m=21,000 円			70,000 円/10a
	保温資材	190 円／㎡	300cm×100m＝57,000 円	190,000 円/10a
S 社例	通気性アルミ資材	333 円／㎡	300cm×100m＝100,000 円	330,000 円/10a



・熱線吸収・反射フイルム
熱としての作用が大きい赤外線を制御（遮熱と保温の両面）できる。
赤外線透過率が低く、保温性の優れる内張カーテン資材の実用性が高い。



図Ⅱ-2-4　多層被覆の方法

表Ⅱ-2-3 保温方法と被覆資材の効果

保温方法	被覆資材	熱節減率 ガラス室	熱節減率 ﾋﾞﾆﾙﾊｳｽ	（参考）保温効果* ガラス室	（参考）保温効果* ﾋﾞﾆﾙﾊｳｽ
一層カーテン	ポリエチレンフィルム	0.30	0.35	100.0	100.0
	塩化ビニルフィルム	0.35	0.40	107.6	108.3
	不織布	0.25	0.30	93.4	92.9
	アルミ粉末混入フィルム	0.40	0.45	116.7	118.2
	アルミ蒸着フィルム	0.50	0.55	140.1	144.5
	アルミ箔ポリエチレンﾗﾐﾈｰﾄﾌｨﾙﾑ	0.50	0.55	140.1	144.5
二層カーテン	ﾎﾟﾘｴﾁﾚﾝﾌｨﾙﾑ＋ﾎﾟﾘｴﾁﾚﾝﾌｨﾙﾑ	0.45	0.45	127.2	118.2
	ﾎﾟﾘｴﾁﾚﾝﾌｨﾙﾑ＋ｱﾙﾐ蒸着ﾌｨﾙﾑ	0.65	0.65	200.0	185.9
	ﾎﾟﾘｴﾁﾚﾝﾌｨﾙﾑ＋ｱﾙﾐ箔ﾎﾟﾘｴﾁﾚﾝ ﾗﾐﾈｰﾄﾌｨﾙﾑ	0.65	0.65	200.0	185.9

注：熱節減率は、被覆材を通過する熱量を算出する際の係数で大きいほど保温効果が高い。
詳しくは、「施設園芸ハンドブック」（施設園芸協会） P.127 を参照。出典：岡田 1980
*保温効果：一層ｶｰﾃﾝﾎﾟﾘｴﾁﾚﾝﾌｨﾙﾑを 100 とした場合の相対値。

b ウォーターカーテン

ウォーターカーテンは地下水を内張りカーテン上に散水し、カーテンを通して室内空気との直接的な熱交換を利用する保温技術である。
水量や水温によって効果は異なるが、比較的低温性のイチゴでは、ウォーターカーテンだけで無加温栽培としている例も多い。
ウォーターカーテンはハウスの大きさ・形状を選ばず、適用性が大きく、大型の温室でも利用することができる。

・技術の内容：地下水を内張りカーテン上に散水し、カーテンを通して室内空気と直接的に熱交換をする。一般的には無加温栽培で利用され、とくにイチゴで普及している。加温栽培での利用については、設置方法や効果について検討を要する点はあるが、実用性は高いと見られる。

できるだけ水温が高く（一般には地下水)、安定的に十分な水量を確保できる水源が必要である。水質としては、鉄分を多く含むと酸化鉄がフイルムを汚すことが問題になるので注意を要する。また、排水対策を十分講じておく必要がある。

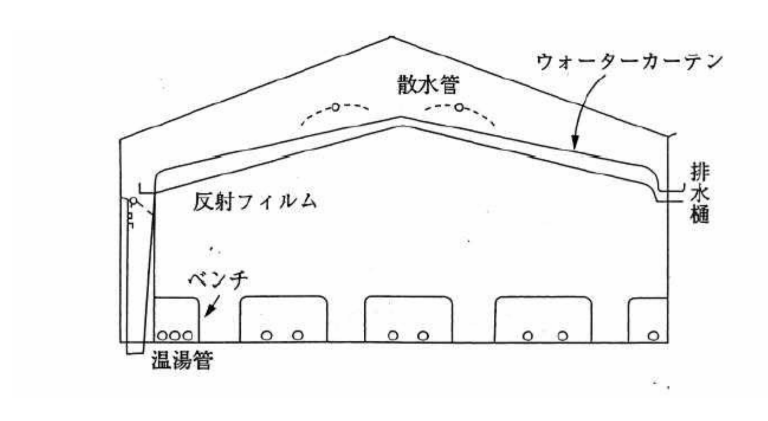
・効果：保温効果は外気温、水温、水量（一般に６L/㎡・hr 程度）等によって異なるが、重油消費量換算で 7,520L／10a という試算もあるように、かなり大きな燃油削減効果が得られる（表Ⅱ-2-4)。

イチゴなど比較的低温管理が行われる野菜では、単独で利用されている例もある。また、ウォーターカーテンはハウスの大きさ・形状を選ばず、適用性が大きく、大型の温室でも利用することができる（図Ⅱ-2-5)。

表Ⅱ-2-4 ウォーターカーテンの省エネ効果（青森県田舎館村の事例）

暖房・保温	燃油使用量	削減率
灯油ボイラー	3,280ℓ	
ウォーターカーテン＋灯油ボイラー	660ℓ	80%

注）ハウス面積３a、水温 20℃（深さ 500m の井戸)、最低夜温８～10℃



図Ⅱ-2-5 ウォーターカーテン設置ハウスの断面図

（小倉,1983）

C 変温管理

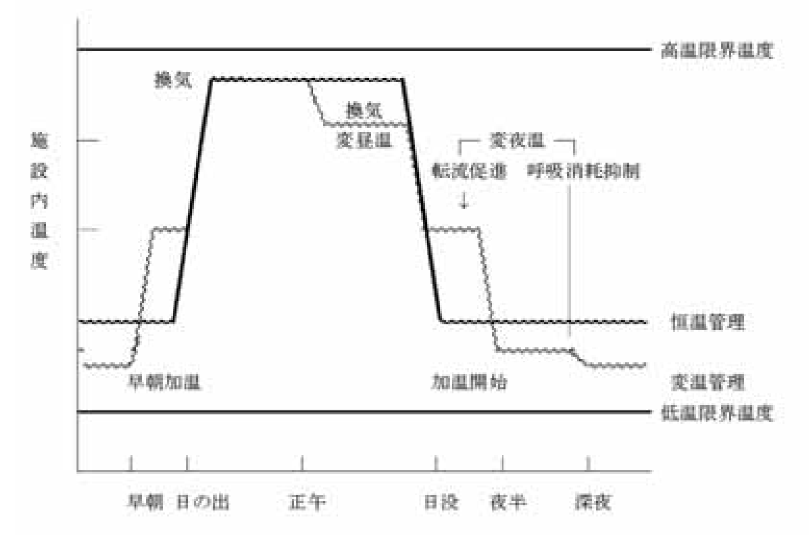
> 変夜温管理技術は１日の温度管理を昼間と夜間に区別するだけでなく、さらに光合成促進（日中）、転流促進（夕方から前夜半）、呼吸抑制（後夜半）等に細分し、それぞれの時間帯に適した温度管理を行う方法である。植物の生育促進効果と同時に、暖房燃油の節減効果が大きい。暖房機に専用のサーモ装置を取り付けるだけでよく、導入コストも比較的安価で手軽である。
> 従来の変温管理では光合成促進効果が大きい「早朝加温」を行うのが一般的であったが、省エネの観点からこれを省略しても良い。

・技術の内容：栽培施設内の温度は品目ごとの生育適温内で管理するが、さらに光合成促進（日中）、転流促進（夕方から前夜半）、呼吸抑制（後夜半）等、それぞれの時間帯に適した温度管理を行う方法を変温管理という（図Ⅱ-2-6）。

転流は主に午後から夜半にかけて行われ、比較的高温で促進されるため、夕方から夜半にかけてはやや高めの温度とし、その後呼吸による消耗を可能な限り抑制するため、低温管理とする。

・効果：「多段式サーモ装置」（図Ⅱ-2-7）を暖房機に接続すると、品目・生育ステージ・時間帯に合わせた温度設定を容易に行うことができる。

昼間曇雨天で光合成産物が少ない日には、日射計を組み合わせることによって、転流促進温度を通常より２～３℃低く設定する日射比例変夜温管理制御を行うこともできる（表Ⅱ-2-5）。



図Ⅱ-2-6 変温管理の概念図

図Ⅱ-2-7 多段式サーモ装置

注）価格は４～５万円、暖房機付属の温度センサーをはずし、接続する

表Ⅱ-2-5 日射比例変夜温管理（ピーマンでの事例）

時刻	晴天日※	曇雨天日
17～20時	20 ℃	18 ℃
20～24時	18 ℃	16 ℃
24～06時	16 ℃	16 ℃

注）※ 日積算日射量 150cal/cm² 以上の日

d 循環扇

循環扇は直進性の風を送ることができる扇風機で、高温時には暖気をハウス外へ排出する目的で、また冬季は暖房時のハウス内の温度ムラを解消する目的で使用される。

ハウス内の上部にある暖気を下部の植物体周辺の空気に混ぜることで、暖房設定温度を低く抑えることができる。また、空気の流れが生じ、作物に風が当たるため体表面の乾燥が促され、病害発生が抑えられる効果がある。

・技術の内容：循環扇（図Ⅱ-2-8）は従来の扇風機に比べ、より直進性の風を送ることで、ハウス内の空気を撹拌する。ジェットエンジンの理論を応用しており、平面的な温度較差ばかりでなく、ハウス上部の暖かい空気と低い位置の冷たい空気を撹拌することができる。価格は0.5ｍの微風を40ｍ先（間口６～７ｍ）まで送れるＳ機種で、１台４万円。

・効果：作物体周辺の空気の温度を高める効果がある。その結果暖房効率が高まり、燃油を節減できる（表Ⅱ-2-6）。重油代を15%節減した事例もある。



図Ⅱ-2-8 循環扇

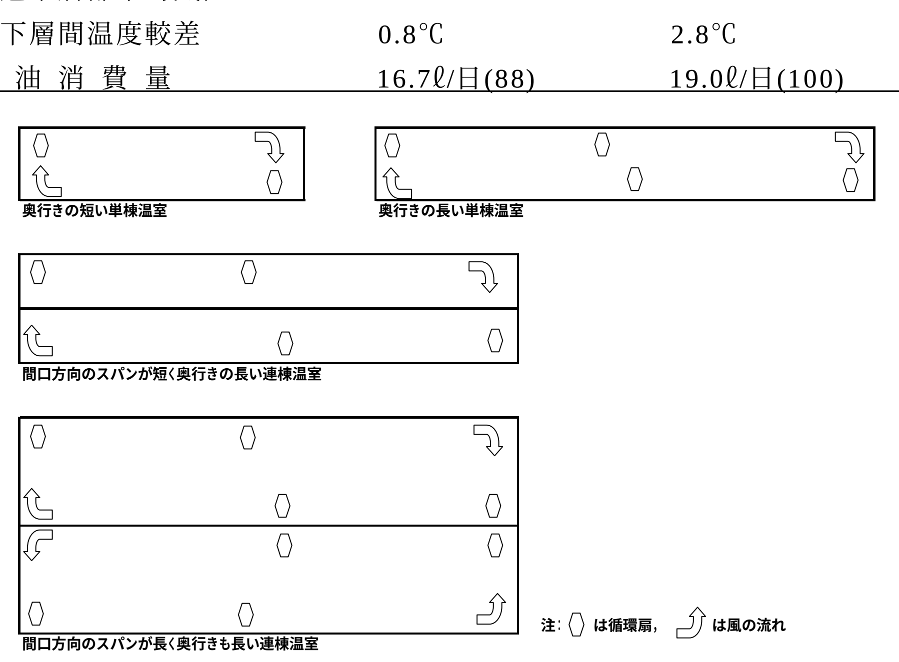
また、結露が発生しにくくなり、病害抑制効果もある。

加温開始温度の設定を同じにすると、ハウス内全体が一度設定温度に達するまでに燃料消費量が多くなることもあるため、従来より２～３℃低めの温度設定にする。

設置する台数や位置は温室の形状や循環扇の性能によっても異なる。空気の流れに注意し、必要台数を配置する（図Ⅱ-2-9）。３～４台／10aで効果を上げた事例もある。

表Ⅱ-2-6 半促成栽培施設内の微気象と灯油消費量（広島農技セ，2002）

項　目	送風機設置区	無処理区
風　速	0.89±0.07m/sec	0m/sec
草冠上層部平均気温	16.3℃	17.3℃
草冠下層部平均気温	15.5℃	14.5℃
上下層間温度較差	0.8℃	2.8℃
灯 油 消 費 量	16.7ℓ/日(88)	19.0ℓ/日(100)



図Ⅱ-2-9 ハウスの大きさと循環扇の配置

e ヒートポンプ

ヒートポンプは低温熱源（水、空気）から熱を汲み上げる装置であり、暖気と冷気の両方を利用することができる。園芸用には当初井戸水を熱源とする暖房システムが開発されたが一般には普及しなかった。その後、花き栽培や育苗施設において、むしろ冷房用に導入される例が見られるようになってきた。

最近、より効率的な空気を熱源とするシステムが、とくに暖房機との併用を効率よく行うことができる「ハイブリッド方式」として開発され、燃油節減効果が大きいことから注目されている。

・ヒートポンプの特徴：冷凍サイクルを利用して、低温熱源（水、空気）から熱を汲み上げる。エネルギー効率は高いが設備費が高額になる欠点がある。園芸では冬季の加温だけでなく、梅雨期や秋雨期等高湿度時期の湿度低下、夏季の夜間冷房にも利用できる。
・ハイブリッド方式：重油暖房機（既設の）にヒートポンプを併用して加温する方法をハイブリッド方式と呼ぶ（図Ⅱ-2-10、Ⅱ-2-11）。



図Ⅱ-2-10 室内機とハイブリッド制御盤



図Ⅱ-2-11 室内機とダクト

・効果：今のところ重油より電気代の方が割安であるため、燃油の節減（約 20～30%）が期待できる（表Ⅱ-2-7）。「ハイブリッド方式」の導入で、ランニングコスト低減率が 47% になった試算例もある。また、価格が１台 70 万円のヒートポンプ（８馬力）３台を温風暖房機と組み合わせた 10a の「ハイブリッド方式」では、15℃管理で、ヒートポンプが 55% の暖房を負担した事例がある。

しかし、設備費や基本料金を含めた今後の電気代を十分考慮する必要がある。

表Ⅱ-2-7 運転時のコストシミュレーシ　　　　　（(株）ネポン,2008 年）

	項　目	ヒートポンプなし	ヒートポンプ 1 台＋石油燃焼式加温装置
ヒートポンプ	負担熱量	―	58.4MWh
	負担割合	―	48%
	消費電力量	―	17MWh
	電力料金	―	260 千円
石油暖房機	負担熱量	121.1MWh	62.6MWh
	負担割合	100%	52%
	重油消費量	13,450ℓ	6,959ℓ
	燃料費	1,345 千円	696 千円
	消費電力量	2.1MWh	1.1MWh
	電力料金	36 千円	27 千円
	運転コスト計	1,381 千円	723 千円
	運転コスト合計	1,381 千円	982 千円
運転コスト削減額		―	399 千円
運転コスト削減率		―	29%

注）10a、カーテン 2 層、14℃管理、暖房 11～4 月、宇都宮の気象条件下
電力料金は東京電力の低圧電力契約、A 重油価格は 100 円/ℓで算出。
電力料金には基本料金負担分も含む、燃料調整費は含まない。

ｆ 空気膜ハウス

> 空気膜ハウスはフイルムを２枚重ねに被覆して、間にハウス内の空気をブロウし、30cm程度の空気の層を保持するものである。一般に、パイプハウスの被覆資材として用いる厚さ0.1mm程度のＰＯフイルムをそのまま利用している。既存のパイプ構造をそのまま使って保温性の優れる二重被覆構造とすることができ、実用的である。
> 二重被覆とすることで昼間の光線透過率が落ちる（90%×90%＝81%）ので、日照不足には留意する必要がある。

・空気膜ハウスの構造：一般には、厚さ0.1mmの農ＰＯを二重に被覆して、ブロウし、常時30cm程度の空気の層を保持する。内張りカーテンは一重とし、内張りサイドは固定的な二重にすることが多い。
・効果：試算では燃料削減率が21.6%となり（H19園研）、経済効果が大きい（表Ⅱ-2-8）。また、複層板構造では大きな問題となることが多い『結露』が生じにくく、フィルムの透明性を確保できる特長がある。

空気膜は内張りにも利用することができ、外張りとの併用で燃料削減率が55%になった事例もある（表Ⅱ-2-9）。

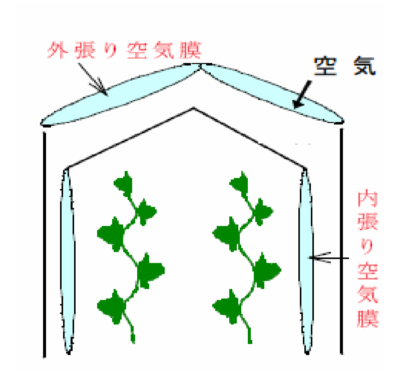
表Ⅱ-2-8 導入経費と経済効果の試算（１年・10a当たり　15℃暖房　灯油85円/L）

項目	空気膜	慣行	差	備考
被覆資材費	152,000	52,800	99,200	
内張資材費	13,330	6,145	7,185	
送風機	33,000	0	33,000	
電気代	8,640	0	8,640	
小計(A)	206,970	58,945	148,025	
燃料代(B)	1,665,150	2,125,000	-459,850	燃料削減率 21.6%
(A＋B)	1,872,120	2,183,945	-311,825	年間暖房経費

表Ⅱ-2-9 空気膜フイルムを外張りと内張り併用した事例　（岐阜農技セ ）

	燃油使用量	削減率	備考
対照ハウス	4,289ℓ/10a		2連棟パイプハウス
空気膜ハウス	1,919ℓ/10a	55%	2連棟パイプハウス

＊ 燃油使用量はキュウリハウス、２月～４月の累積





図Ⅱ-2-12 空気膜ハウスの断面図および外観

g その他

①複合環境制御

・その日の日射量に応じて夜温を設定したり、風向・風速を考慮して換気をするなど、湿度や CO_2 濃度を含め、幾つかの要因を絡み合わせて環境制御を行う方法。

・暖房設定温度を１℃下げると、10%程度燃料を削減できる。

表Ⅱ-2-10 夜間暖房負荷（暖房デグリアワー）の事例（11-4 月の６月間、1000 ㎡、２層カーテン）

暖房温度(℃)	7	8	9	10	11	12	13	14
暖房 DH(℃h)	7,546	9,314	11,248	13,347	15,592	17,967	20,443	23,001
燃料消費(L)	4,692	5,792	6,994	8,299	9,695	11,172	12,712	14,302
割合(%)	32.8	40.5	48.9	58.0	67.8	78.1	88.9	100

②電気式温風機

・電気式温風機は電熱ヒーターで発生する熱を温風として、暖房に利用する。熱量に限界があるので、主に温風暖房機の補助として用いる。

・電気式温風機は発生する熱を全てハウス内に放出できるので、ロスが少ない。

表Ⅱ-2-11　温風暖房機との比較事例　（H19 園研)

暖房機	電力消費量	灯油使用量	暖房コスト
H 機種	1,992 kWh	0 L	29,898 円
K 機種	67 kWh	288.1L	27,457 円

注）50 ㎡パイプハウス、内張り１層 2/23-3/5 の 10 日間

H 機種：電気式温風機
K 機種：燃焼式温風暖房機
（灯油炊き 0.215 kWh 20,000 kcal）
電力 10.3 円/ kWh　灯油 90 円/L

表Ⅱ-2-12 ランニングコスト試算（H19 園研）

	電力料金	電力基本料金	重油代	10 日間合計
H 機種	330KWh×10 円＝3,298 円	3,984 円	0円	7,282 円
K 機種	147 KWh×10 円＝1,474 円	―	114h5.7L60=38,988 円	40,462 円

注）導入コスト試算：電気式温風機（H 機種）43,800kcal(200V)　消費電力 12KW
1,300 千円／台（１台 200 坪程度、10a２台必要）

③水封マルチ

・主にメロンやスイカ等の小トンネル内で利用される水蓄熱の局所的利用技術である。効果はトンネル被覆１枚（約２℃）に相当すると見られている。

・蓄熱量や設置場所等の制限があるが、積極的に利用技術を検討する必要がある。

④局所加温

・ハウス全体を好適温度に管理するのではなく、特定の小空間を加温し、低温の影響の少ない部位の温度は低温に管理する技術である。

・根域を加温する培地加温、生長点付近のみを加温する生長点加温などがある。

・温湯管を用いた生長点加温により、トマトでは花粉稔性の低下を抑制でき、着果・収量が安定化する。また、バラの養液栽培では根域温度の適温は 20～25℃を確保することで、施設内温度をある程度下げても収量への影響は少ない等の知見がある。

・九州沖縄農研セ等が開発したイチゴのクラウン部加温技術は試験的導入事例がある。

⑤排熱回収装置

・燃焼式暖房機の排気ガスとして排出される熱によって空気を温め、ハウス内に再放出する装置で「エコのマイザー」とも呼ばれる。暖房機の排気口付近の煙突に直接設置する。

・排熱の 30～40%を回収することができ、５～７%の節油効果が得られるというデータもある。

・価格は設置費を含め 25～50 万円程度。電気駆動式であるため、年間約 5,000 円／台の電気代がかかる。

⑥加温機の掃除・点検

・暖房効率の低下や事故などのトラブル発生を防止するためには、掃除・点検は欠かせない。最低でも、年に 1 回は掃除・点検を行う。

・掃除・点検方法は以下のとおり。実施に当たっては、加温機によって方法が異なる点があるので、取扱説明書に従う。

(ⅰ)熱交換面（缶体）の掃除

缶体の掃除を行わないと、煙管が詰まり黒煙が発生したり、不着火の原因になる。加温シーズン終了後、できるだけ早い時点で掃除を行う。

予め､必ず暖房機の電源を切り､燃料バルブを閉めてから行うように注意する。

(ⅱ)バーナーノズル周辺の掃除

バーナーノズル周辺の汚れは、完全燃焼を妨げるので定期的に掃除する。とくに、ディフューザー回りがすすや油で汚れると、燃料と空気の混合が悪化して完全燃焼を妨げるので、常にきれいにしておく必要がある。

燃焼状態が良好であっても、１～２ヵ月に 1 回は汚れを落とす。

(ⅲ)バーナーノズルの交換

ノズルの磨耗が進むと燃焼状態が悪化し、また噴霧油量が増加し缶体を傷める恐れがある。

故障を予防するため、定期的（目安：1 シーズン毎に、または 10kl 消費毎）に交換する。

(ⅳ)エアーシャッターの調整

燃焼効率を高めるためエアーシャッターの開度を点検し、随時調整する。

煙突から出る排気ガスの色や量は燃焼状態判断の参考になる。白煙であれば、エアーシャッターを閉め気味に、黒煙であれば、開き気味に調整し、できるだけ無色になるようにする。調整後すぐには排煙の色は変わらないので、数日様子を見ながら行う。